



TITLE:

# ストローブマツ幼令林の物質生産機構

AUTHOR(S):

赤井, 龍男; 上田, 晋之助; 古野, 東洲

---

CITATION:

赤井, 龍男 ...[et al]. ストローブマツ幼令林の物質生産機構. 京都大学農学部演習林報告 1971, 42: 143-162

ISSUE DATE:

1971-03-25

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/191490>

RIGHT:

# ストロブマツ幼令林の物質生産機構

赤井 龍男・上田晋之助・古野 東洲

Mechanisms Related to Matter Production in a Young White Pine Forest

Tatsuo AKAI, Shinnosuke UEDA and Tooshu FURUNO

目	次
要 旨.....	143
まえがき.....	144
1. 調査林分の概況.....	145
2. ストロブマツの	
相対生長と林分現存量.....	145
1) 調査方法	
2) 相対生長関係	
3) 地上部現存量	
3. 林分生産量.....	148
1) 個体の生長	
2) 林分の幹生産量	
4. 林分の生産構造.....	149
1) 断面積の本数分布	
2) 幹枝葉の垂直的配分——生産構造	
3) 葉と枝の関係	
5. 林内環境.....	150
1) 林内の明るさと生枝下高	
2) 地床植生	
6. 土壌環境.....	151
1) 調査方法	
2) A <sub>0</sub> 層の堆積	
3) 調査地土壌の一般的特徴	
4) 土壌の理学的性質	
5) 土壌の化学的性質	
7. 生態系内における養分要素の循環...	154
1) 分析方法	
2) 地上部各部の養分要素の含有率	
3) 生態系内の養分要素の現存量と その配分	
4) 養分の落葉落枝としての還元—— 平均分解率	
5) 土壌中の養分の消費の早さ	
あとがき.....	160
文 献.....	160
Résumé .....	161

## 要 旨

外国産マツ林に関する物質生産機構の一連の研究として、長野県阿智村、飯田営林署管内阿智国有林の標高 1,100 m、南面急斜地 (40°) に造林されている11年生のストロブマツ (*Pinus strobus*) 林分の総合的な物質生産のしくみを明らかにしようとした。1969年10月下旬の調査時において立木本数は2林分の平均で (ha あたり) 3,200本、平均樹高 5.3 m、平均胸高直径 6.9 cm、胸高断面積合計 13.2 m<sup>2</sup>/ha で、ほぼ閉鎖状態にあったが、被圧による枯死木はなく、まだ自然間引の状態にはいたっていなかった。

林分の地上部各部分の現存量は、資料木の層別刈取りによる相対生長法から推定した。胸高直径 ( $D$ , cm) と樹高 ( $H$ , cm) の  $D^2H$  に対する幹材積 ( $V$ , cm<sup>3</sup>)、幹乾重 ( $w_s$ , kg)、枝乾重 ( $w_b$ , kg) および葉乾重 ( $w_L$ , kg) の相対生長関係は比較的適合度がよく、その近似式はつぎのようであった。

$$\log V = 0.8828 \log (D^2 H) + 0.1806$$

$$\log w_s = 0.8241 \log (D^2 H) - 3.0328$$

$$\log w_B = 0.9875 \log (D^2 H) - 4.0831$$

$$\log w_L = 1.0354 \log (D^2 H) - 4.7677$$

幹量や葉量に関する相対生長式の勾配の値は、テーダマツやスラッシュマツとあまり差がないが、枝量に関する勾配の値は明らかに小さく、ストロブマツの枝量は個体が大きくなるほど相対的に小さくなる傾向がある。

調査時におけるストロブマツ林の幹材積現存量は 45.5 m<sup>3</sup>/ha で、乾重現存量では幹 14.9 ton/ha、枝 7.4 ton/ha、葉 2.8 ton/ha と推定された。同じような林分構成の他のマツ林に比較しいずれも明らかにすくないが、林分葉量は他の外国産マツ林の約 1/4 で、落葉直後の測定であるものの著しくすくない。最近 1 年間の幹生産量は 4 ton(12.2 m<sup>3</sup>)/ha で、他地方のストロブマツ林とあまりちがわないことから、他の針葉樹林に比較して幹生産量は一般に低いようであった。

林分の生産構造は葉が下層まで分布する針葉型で、林冠下の平均相対照度は 5.4%、相対照度 10% 以上の“日もれ”は約 15% であった。林床植生はすくなく乾重で約 2 ton/ha であった。

調査地の A<sub>0</sub> 層（落葉、落枝、粗腐植、腐植）は乾重で約 12.6 ton/ha であったが、その平均分解率は 20% 以下となり、テーダマツやスラッシュマツ林に比べてかなり分解が悪いようであった。

土壌層の厚さは 100 cm 以上もあり、きわめて厚く、また土壌の物理性は粗鬆で良好であった。土壌は微酸性を呈し、土壌中の養分要素の含有率はいずれもかなり高かったが、置換性 Mg の含有率は低かった。

ストロブマツの葉、生枝中の N, P, K の含有率は他樹種に比較してかなり高く、Ca は低かった。同様に A<sub>0</sub> 層中のこれら要素の含有率も葉と類似した傾向が認められた。全生態系内の養分要素現存量は ha あたり N 約 4,810 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 約 498 kg, K<sub>2</sub>O 約 591 kg, CaO 約 606 kg, MgO 約 146 kg と計算された。土壌層中の各養分は比較的豊富であったが、可給態 Mg の現存量はすくなく、また生態系内の配分比率からも将来この要素の欠乏がおこる可能性があるようである。

各養分要素の平均分解率は、K 以外は明らかに低く、その分解には長い年月が必要であろう。また毎年幹に蓄積される各養分の吸収速度から、土壌中の養分要素の消費の早さを推定した結果、N, Ca は十分、P, K は多少の余裕がみられたが、Mg はわずか 50~60 年程度しかなく、このことから近い将来において、この要素の不足による生長量減退の可能性がすくなくないように思われた。

## ま え が き

現在わが国で育成されている外国産マツ属のうち、これまでテーダマツ<sup>1)</sup>、スラッシュマツ<sup>2)</sup>、およびフランスカイガンショウ林の物質生産機構について解析をすすめてきたが、この調査報告もその一連の研究である。

ストロブマツ (*Pinus strobus* L.) の天然分布は主として 5 大湖を中心としたカナダ南東部からアメリカ北東部である<sup>3)</sup> が、ストロブマツの人工造林は世界各地で行なわれ、その造林成績の報告も多い<sup>4)</sup>。わが国では天然分布地域と気象条件のよく似た北海道で、古くからかなり広く造林されているが、東北から中部地方にわたっても造林され、その全面積は 3,000 ha をこえているという<sup>5)</sup>。

調査したストロブマツ林は長野県阿智村、飯田営林署管内阿智国有林の標高 1,100 m、南面急斜面に造林されている 11 年生の林分で、1969 年 10 月の調査時においてほぼ閉鎖状態になっていた。本報告は一応閉鎖状態に達したばかりの若い外国産マツ林の生産力のちがいを、林分の地上部現存量、生長量、生産構造ならびに主要養分要素の生態系内における循環の解析から明らかにしようとしたもの

である。

本研究は44年度文部省科学研究費総合研究の計画にもとずき行なわれたもので、赤井、古野が地上部生産機構を測定解析し、赤井がとりまとめ、また上田が土壤環境と物質循環について分析し、とりまとめたものである。

本研究を総合研究の一環として企画された京都大学農学部演習林佐野教授、とりまとめに際しご助言をいただいた農学部四手井教授、および調査にあたってご協力をいただいた演習林教官、職員ならびに飯田営林署署長はじめ関係各位に深く感謝する。

## 1. 調査林分の概況

調査地の地形は、傾斜約  $40^\circ$  の南面急斜地で、花崗岩の風化物が 1 m 以上も厚く堆積しているため、各所に崩壊地がある。

斜面の中腹において林分構成の比較的整一な調査地を上下に 2 箇所えらび、それぞれ 0.02 ha 内の胸高直径 ( $D$ )、樹高 ( $H$ )、生枝下高について 1969 年 10 月下旬、毎木調査を行なった。その結果は Table 1 のようであった。

Table 1. Descriptions of White pine stands in Achi National Forest.

Stand	Number of tree per hectare	Mean height (m)	Mean diameter at breast height (cm)	Basal area per hectare ( $m^2$ )
I	3,400	5.2	6.8	13.4
II	3,000	5.4	7.0	12.9

両林分の立木本数は 1958 年植付け当初の本数にほぼ一致し、林内には被圧木はあるが、枯死木はまだみられない。また平均樹高は 5 m をこえた程度であるが、付近のカラマツ林に比較して生長は劣っていないようであった。

## 2. ストローブマツの相対成長と林分現存量

### 1) 調査方法

林分の地上部各部分の現存量は、資料木の層別刈取りによる相対生長法から推定した。林分 I のなかからはほぼ全直径階にわたるよう 14 本の資料木を地際より伐倒し、地上 0.3 m と、それ以上は胸高 (1.3 m)、2.3 m……と各 1 m の層ごとに切り離し、各層に含まれる幹、枝、針葉の生重量をただちに計測した。そしてサンプリングによる絶乾重の測定から、それぞれの乾重量をもとめた。なお針葉は各層とも新 (当年) 葉と旧 (前年) 葉とにわけ測定した。

### 2) 相対生長関係

伐倒した資料木各個体の胸高直径 ( $D$ ) と樹高 ( $H$ ) の  $D^2H$  に対する幹材積 ( $V$ ) ならびに幹乾重 ( $w_s$ ) の相対生長関係は、Fig. 1 のようであったが、他の外国産マツに比較してかなり適合度がよい。また枝乾重 ( $w_b$ ) や葉乾重 ( $w_l$ ) の相対生長関係も、それぞれ Fig. 2, Fig. 3 に示したように、比較的適合度がよく、ほぼ一つの直線 ( $\tan \alpha = 1$ ) で近似できそうである。

$D^2H$  ( $cm^2cm$ ) に対する各部分量  $Y$  の相対生長関係式は、

$$\log Y = a \log (D^2H) + b \cdots \cdots (1)$$

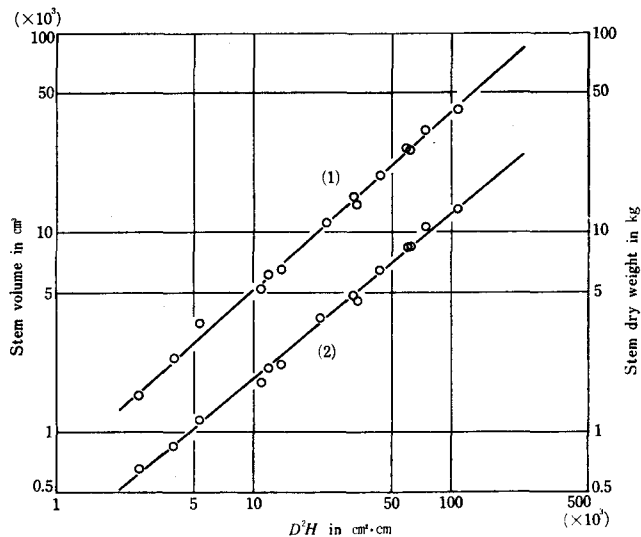


Fig. 1. Allometric relations between stem volume and  $D^2H$  in  $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}$ .

$$\log V = 0.8828 \log D^2H + 0.1806 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\log w_s = 0.8241 \log D^2H - 3.0328 \quad \dots\dots\dots(2)$$

であらわされるが、比較のためにストロブマツ以外の外国産マツも含めて幹材積 ( $V, \text{cm}^3$ ), 幹乾重 ( $w_s, \text{kg}$ ), 枝乾重 ( $w_B, \text{kg}$ ), 葉乾重 ( $w_L, \text{kg}$ ) の近似式の常数値  $a, b$  を Table 2 に示した。

幹量に関してはストロブマツやテーダマツよりスラッシュマツの勾配  $a$  の値が多少大きく、生長するほど通直になる傾向が僅かに認められる。ストロブマツの枝量の  $a$  値は3樹種中もっとも小さく、ストロブマツの枝は個体が大きくなるほど相対的にすくなる傾向がある。

葉量に関する勾配  $a$  の値は各樹種ともほぼ1で、閉鎖林分ではそれほど差がなく、樹幹の大きさに比例するようにであった。

Table 2. Constants  $a$  and  $b$  of allometric relations formula to  $D^2H$  in  $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}$ .

Species	$V_s$ ( $\text{cm}^3$ )		$w_s$ (kg)		$w_B$ (kg)		$w_L$ (kg)	
	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$
Loblolly pine	0.8638	0.2810	0.8404	-3.0073	1.2253	-5.4815	1.0078	-4.4445
Slash pine	0.9038	0.1332	0.9200	-3.3819	1.2610	-5.9440	1.0351	-4.5584
White pine	0.8828	0.1806	0.8241	-3.0328	0.9875	-4.0831	1.0354	-4.7677

今回調査したストロブマツ林のように、立木密度など林分構成がほぼ均一な林分においては、 $D$  と  $H$  の相対生長関係が比較的単純に回帰するので、はん雑な  $D^2H$  に対する各部分の相対生長関係式から現存量を推定しなくても、 $D$  あるいは  $D^2$  に対する近似式を用いれば十分である。そして図上から勾配をもとめる場合は  $D^2$  に対する相対生長をとった方がよいが、近似式上では勾配  $a$  値の  $\frac{1}{2}$  をとって  $D$  に対する相対生長関係式をもとめた方が便利であろう。

$D$  (cm) に対する各部分量の関係式はつぎのように近似された。

$$\text{幹材積 } (V, \text{cm}^3) \quad \log V = 2.2690 \log D + 2.1921 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{幹乾重 } (w_s, \text{kg}) \quad \log w_s = 2.1830 \log D - 1.2150 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{枝乾重 } (w_B, \text{kg}) \quad \log w_B = 2.5203 \log D - 1.8230 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{葉乾重 } (w_L, \text{kg}) \quad \log w_L = 2.8225 \log D - 2.5342 \quad \dots\dots\dots(5)$$

(2) 式を東大北海道演習林のストロブマツ人工林の立木材積表<sup>6)</sup>と比較すると、(2)式による材積推定はいくらか小さくなる傾向があるが、これは資料として用いた林分の構成状態の差によるものであろう。

### 3) 地上部現存量

$D^2H$  あるいは  $D$  に対する各部分量の相対生長関係式を、毎木調査結果からもとめた直径階別本数分配表にあてはめ、それぞれの地上部現存量を推定し、その結果を Table 3 に示した。

他の外国産マツの胸高断面積合計は最多密度の状態に達すると、ほぼ  $40 \text{ m}^2/\text{ha}$  前後になるようである<sup>1,2)</sup> が、Table 1 に示したようにこのストロブマツ林の胸高断面積合計は約  $13 \text{ m}^2/\text{ha}$  であるので、林冠は一応閉鎖状態にあるもののまだ最多密度の状態には達していないものと思われる。したがって Table 3 に示した幹現存量も、密な若いテーダマツ林やスラッシュマツ林の ha あたり約  $150 \sim 200 \text{ m}^3$  ( $60 \sim 70 \text{ ton}$ ) という大きい幹現存量に比べてかなり小さい。

ストロブマツ原産地の人工林の収穫表<sup>7)</sup> などと比較すると、今回の調査地の値はほぼ3等地程度の生長を示しているようである。また北海道野幌地方の収穫予想表<sup>4)</sup> では、10年生、ha あたり立木本数約2,900本、平均樹高7.3m、平均胸高直径8.4cmの林分で、約  $68 \text{ m}^3/\text{ha}$  となっているが、これよりもかなりすくない。後述するように土壌環境はかなりめぐまれた条件であるので、生長のあまりよくない原因は気象環境などにあるのかも知れない。

森林が十分閉鎖すると林分の葉量は樹種に特有な一定量に達する。しかし全着葉量は調査時期のちがいでによって著しく異なる。Table 3 に

示したストロブマツ林の葉量は、林冠が閉鎖したばかりでしかも落葉直後における値であるので、落葉直前に測定した白浜試験地のテーダマツ林やスラッシュマツ林の葉量（最大  $14 \sim 18 \text{ ton}/\text{ha}$ ）<sup>1,2)</sup> と比較して著しくすくないが、新葉量の2年分が着生していたとしても約  $4.2 \text{ ton}/\text{ha}$ <sup>8)</sup> で、上述の外国産マツばかりか只木ら<sup>8)</sup> がまとめたアカマツやクロマツの葉量と比べても著しくすくない。このことは林分の閉鎖状態に多少ちがいがあるとしても、一応樹種の特性と考えられよう。

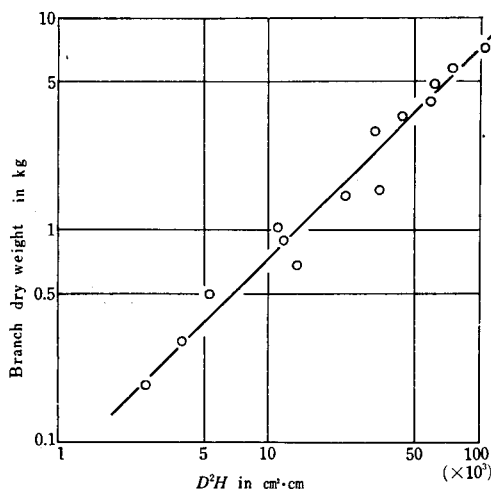


Fig. 2. Allometric relation between dry weight of branch ( $w_B$ ) in kg and  $D^2H$  in  $\text{cm}^2\text{cm}$ .

$$\log w_B = 0.9875 \log D^2H - 4.0831$$

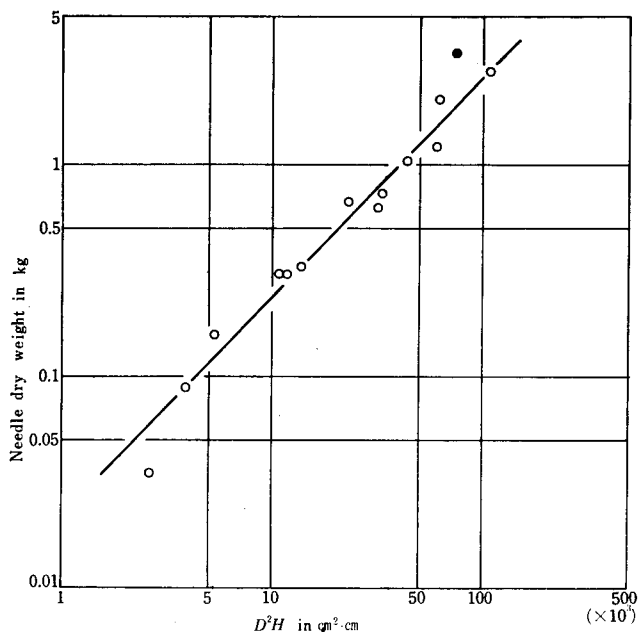


Fig. 3. Allometric relation between dry weight of needle ( $w_L$ ) in kg and  $D^2H$  in  $\text{cm}^2\text{cm}$ .

$$\log w_L = 1.0354 \log D^2H - 4.7677$$

● : tree in forest border

Table 3. Biomass of White pine stands per hectare.

Stand	Stem volume (m <sup>3</sup> )	Stem dry weight (ton)	Branch dry weight (ton)	Dead Branch dry weight (ton)	Needle dry weight (ton)	New Needle dry weight (ton)
I	45.3	14.9	7.33	0.037	2.67	2.08
II	45.6	14.9	7.50	0.039	2.78	2.14

一方、ストロブマツの枝乾重は白浜試験地のテーダマツ林よりすくないが、スラッシュマツ林のそれとは大きなちがいはみられなかった。

### 3. 林分生産量

#### 1) 個体の生長

単木幹材積の連年生長量（皮なし）の経過を樹幹解析結果から示すと Fig. 4 のようになる。これからも明らかなように、林分が閉鎖してくると単木の生長は低下するが、そのなかでも初期の生長の悪い個体はより早く生長量がおち、競争にまけてやがて自然枯死に至る。反対に初期生長の大きい個体は生長率も大きく、競争にかかってますます他の個体を被圧するようになる。

ストロブマツの幹連年生長量の最多の時期は、北海道ではほぼ15～20年<sup>4)</sup>にあるようである。したがって本調査のストロブマツの個体の連年生長量は今後しばらくまだ増加すると思われる。

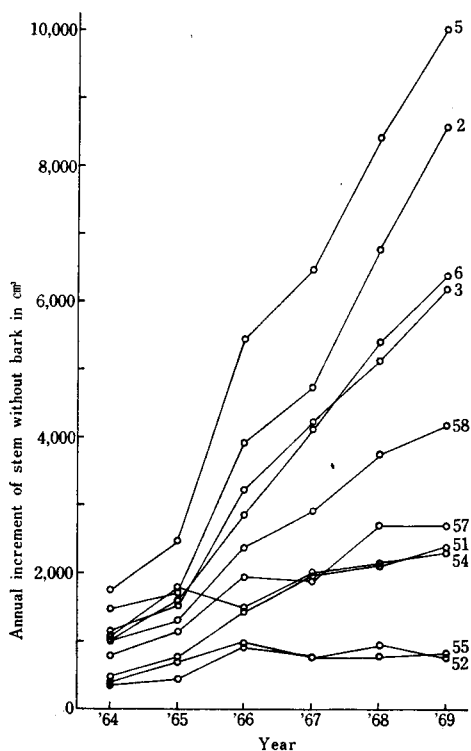


Fig. 4. Annual increment of stem without bark yearly.

樹幹解析結果からもとめた最近1年間の幹乾重生長量 ( $\Delta w_s$ ) の  $D^2H$  に対する相対生長関係は Fig. 5 のようになり、多少バラツキはあるが、その近似式はつぎのようであった。

$$\log \Delta w_s = 0.9231 \log D^2H - 4.0685 \dots (6)$$

$$\Delta w_s : \text{kg}, D^2H : \text{cm}^2\text{cm}$$

(6) 式の常数値はテーダマツやスラッシュマツの関係式とあまりちがいはなかった。

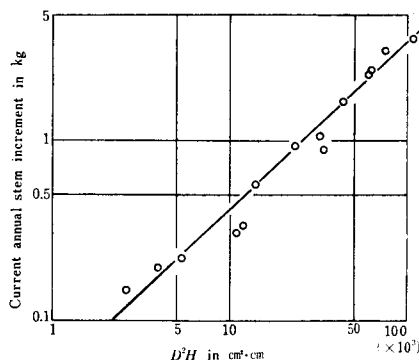


Fig. 5. Allometric relation between dry weight of current annual stem increment ( $\Delta w_s$ ) in kg and  $D^2H$  in  $\text{cm}^2\text{cm}$ .

$$\log \Delta w_s = 0.9231 \log D^2H - 4.0685$$

## 2) 林分の幹生産量

林分の最近1年間の幹乾重生産量を、地上部現存量の推定と同様に毎木調査結果と(6)式からもとめると、林分Ⅰは 3.96 ton/ha·year, 林分Ⅱは 4.04 ton/ha·year となった。幹材積生産量ではそれぞれ 12.1 m<sup>3</sup>/ha·year, 12.3 m<sup>3</sup>/ha·year と推定された。

すでに報告<sup>1,2)</sup>したように、閉鎖した若いテードマツ林やスラッシュマツ林の年間幹乾重生産量は 9 ton/ha·year をこえるのに対し、本調査地のストロームマツ林はその半分にも達していない。また蜂屋ら<sup>9)</sup>が調査したアカマツ林や只木ら<sup>8)</sup>がまとめた暖温帯地域の他の針葉樹の値よりも著しく小さい。

しかし、北米の郷土地方<sup>7)</sup>や北海道野幌地方<sup>4)</sup>のストロームマツ林の幹材積連年生長量は、地位によって多少異なるが10~20年生ではほぼ 14 m<sup>3</sup>/ha·year (連年生長量最多の時期である)を示し、本調査地の幹生産量とあまりちがわない。したがってストロームマツ林の幹生産量は他の針葉樹に比較して一般に低いようであった。

## 4. 林分の生産構造

### 1) 断面積の本数分布

同令単純林の立木構成、特に競争状態を明らかにするためには、直径階別本数分布いわゆる林相曲線より断面積分布を調べる方がよいようである。Fig. 6 は断面積のかわりに胸高直径 ( $D$ ) の平方としてその本数分布を示したものである。

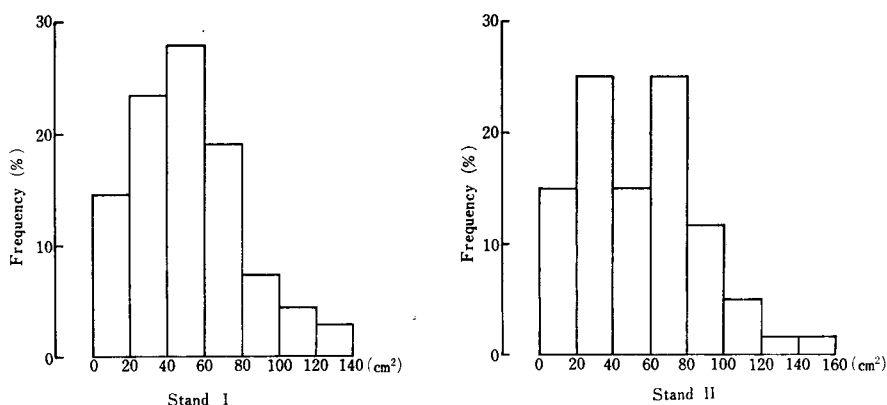


Fig. 6. Frequency distribution of  $(DBH)^2$  in cm<sup>2</sup>.

林分が相対的に密になり、個体間の競争がはげしくなると、 $D^2$  の小さい方にひずんだいわゆるL型になる。本調査地のストロームマツ林は閉鎖後間もない状態であるので、多少L型分布に近い形を示しているが、自然間引の状態にまではいたっていない。

### 2) 幹枝葉の垂直的配分——生産構造

同化器官である葉を新葉(当年葉)と旧葉(前年葉)に分け、さらに非同化器官は幹と枝を区別して、それぞれの林分内の垂直的構成、すなわち層別刈取りによる生産構造図を Fig. 7 に示した。林令が若いので蓄積量としての幹量は、十分に閉鎖したときある一定値になる葉量や枝量に比較して全体として明らかにすくないが、生長段階が進み、立木密度が相対的に増加するにしたがって被圧木が



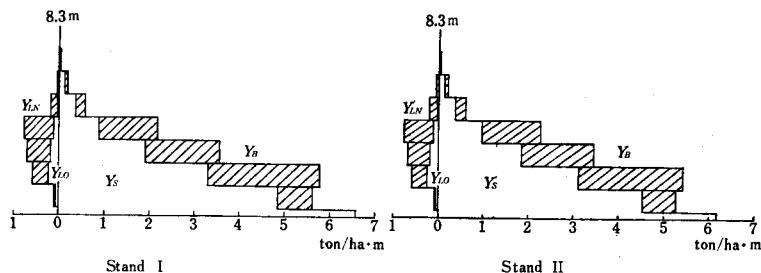


Fig. 7. Production structure diagrams showing the vertical distributions of dry weight of stem ( $Y_s$ ) branch ( $Y_b$ ) and foliage ( $Y_l$ ) in ton per ha·m.

多くなり、幹量の下部への配分も多くなろう。

テーダマツ林やスラッシュマツ林の葉や枝の垂直的配分は、立木密度の疎な林分では一般針葉樹と同様いわゆるイネ型に、密な林分では着葉量のモードが上層にかたよったソバ型（広葉型）に近い特徴を示すが、これは陽性樹種であるアカマツ林の状態<sup>8)</sup>とよく似ている。これに反しストロブマツ林は一応閉鎖状態に達しているのにむしろイネ型を示し、特に下層には比較的旧葉が多い。本調査が落葉期前に行なわれておれば、この傾向はさらに顕著であったであろう。

### 3) 葉と枝の関係

幹や枝を増加させ養うに必要な最小限の葉量とか、単位枝量に着生することのできる葉量の最大値は、樹種によってほぼ定まっているようである。ストロブマツの単木あたりの枝と葉の乾重の相対生長関係を Fig. 8 に示した。

すでに報告<sup>1,2)</sup> したテーダマツやスラッシュマツあるいは若いアカマツの枝量に対する葉量の相対生長関係は、その勾配が1より小さいが、Fig. 8 から明らかなように、ストロブマツの場合はその勾配が1より大きい傾向がみられる。これはすでにのべたように、着葉量の季節変化のちがいによるものとも思われるが、調査時点における新葉量に等しい旧葉が落葉したとして、その量を加えると、単位枝量あたりの葉量はスラッシュマツより多少すくないが、テーダマツやアカマツの値に近似するようになる。以上のように、2, 3, 5 葉という針葉数のちがいによる樹種の特徴を、枝や葉の量的関係から見出すことは困難であった。

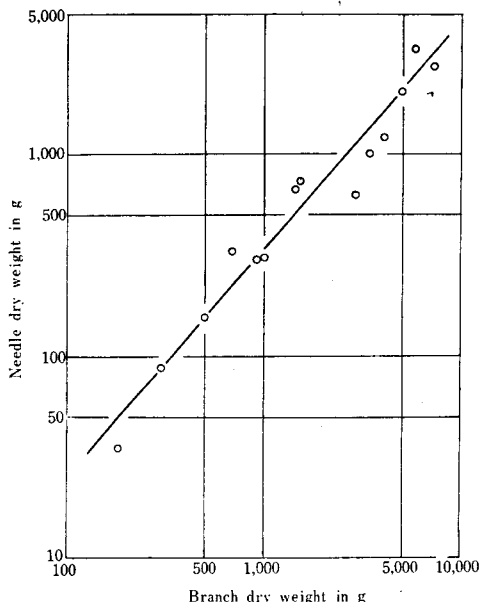


Fig. 8. Allometric relation between dry weight of needle ( $w_L$ ) in g and branch ( $w_B$ ) in g.

## 5. 林内環境

### 1) 林内の明るさと生枝下高

林外上向照度が 70,000 Lux 以上の時（正午前後）、林冠下、地床植生上の明るさを、照度計（東芝 SPI 型）で 50 cm 間隔に 44 測点ずつ 2 カ所測定し、同一時刻の近くにあった裸地の上向照度に対する相対照度（%）をもとめた。林分構成が

ほとんど同じであるので、2カ所の各測定点（合計88測点）を合せた相対照度の分布を Fig. 9 に示した。これからも明らかなように、林内には“日もれ”があるので、相対照度の分布は一般に小さい方に片寄ったL型になる。相対照度を対数変換するとその分布はほぼ正規型に近い形になるので、林内における平面的な相対照度の分布は、一応対数分布と考えられる。それ故、平均相対照度はこの変換値の平均を用いる方が適切であると思われるが、計算の結果、算術平均値より僅かに小さくなるだけであった。

算術平均でもとめたストロブマツ林の地床上の平均相対照度は5.4%で、密なテーダマツ林よりは多少明るいが、スラッシュマツ林とはよく似ていた。

一方、“日もれ”の量は葉の光エネルギーの利用効率に関係し、また平均相対照度のようなならされた明るさでは理解しにくい林分構成を、ある程度明らかにすることができよう。ストロブマツ林における相対照度10%以上の“日もれ”は全体の約15%で、テーダマツ林やスラッシュマツ林と比較して多少多い傾向を示した。

林分が相対的に密になると枝は次第に枯れあがり、生枝下高は高くなる。林分の生産構造でもふれたように、調査したストロブマツ林の葉の垂直的配分は下層にまで分布しているため、生枝下高は低く林分Ⅰ、Ⅱとも Table 1 に示したように 0.54 m で、テーダマツ林やスラッシュマツ林に比較して著しく低かった。

## 2) 地床植生

植物の葉の光補償点から推定すると、植物生長期における平均相対照度が5~10%以上あれば、林内に他の植生が進入してくるようである。調査地内にみられた植生は主としてつぎのようなものであった。

ツリバナ、アワブキ、キブシ、バイカウツギ、タニウツギ、マンサク、サワダツ、リョウブ、ガマズミ、シナノキ、キイチゴ、クマザサ、イタドリ、ワラビなど

植生の種類は比較的多いが、その乾重現存量は、林分Ⅰが 1.7 ton/ha、林分Ⅱが 2.5 ton/ha で、林内が比較的明るいのに、密なテーダマツ林やスラッシュマツ林と同様、地床植生の量はすくなくかった。

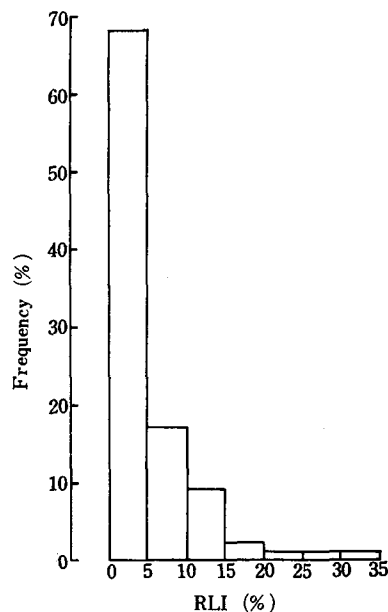


Fig. 9. Frequency distribution of relative light intensity (RLI) under canopy in White pine stand.

## 6. 土 壤 環 境

### 1) 調 査 方 法

土壌調査は前記の林分ⅠおよびⅡのはぼ中央部において行なった。A<sub>0</sub>層の堆積量（落葉、落枝、粗腐植、腐植）は水平面で 1×1 m の方形枠を設け、枠内に堆積している A<sub>0</sub>層の全量をていねいに採取、秤量し、サンプリングにより含水率を測定して ha あたりの乾物量に換算した。同時に他の一部を養分要素の分析用試料とした。

土壌層の調査は深さ 100 cm までの試坑を設けて、その断面の外観上の特徴を林野土壌調査基準<sup>1)</sup>にしたがって観察、記録の上 0~5 cm、5~20 cm、20~35 cm、35~50 cm、50~100 cm の深さ別に

それぞれの中央付近より 400 cc 容採土円筒を用いて試料を採取し、理化学性の測定、分析を行なった。

## 2) A<sub>0</sub> 層の堆積

A<sub>0</sub> 層は 4 cm 前後の厚さでほぼ一様に堆積していた。堆積量は Table 4 に示したように両林分の間にはほとんど差はなかった。

この堆積量は現在までに調査したテーダマツ林<sup>1)</sup>、スラッシュマツ林<sup>2)</sup>の生育良好な林分における値にはほぼ匹敵しているが、近畿地方の生育良好なアカマツ林<sup>10)</sup>に比べるとかなりすくなかった。A<sub>0</sub> 層量を当年葉乾重で除した値、すなわち分解年数とその逆数である平均分解率を Table 4 に示した。これから明らかなようにストロブマツの落葉落枝の分解には 5~7 年程度を要するようであるがテーダマツの 2~5 年<sup>1)</sup>、スラッシュマツの 1 年余<sup>2)</sup>、さらに天然性アカマツの 5 年<sup>10)</sup>に比べてかなり分解は悪いようである。もちろん、本調査地の気候が他樹種の調査地に比べてかなり寒冷なことも落葉落枝の分解をおくらせている原因であることも確かであるが、他のマツ類に比べてかなり分解困難な性質をもっているようにも思われる。

Table 4. Dry weight of raw humus and litter (A<sub>0</sub> layer) and its average decomposition rate.

Stand	Dry weight of A <sub>0</sub> layer (ton/ha)	Years required for total decomposition	Average decomposition rate (%)
I	13.92	6.69	14.94
II	11.18	5.22	19.14

このことは養分要素の循環面よりみれば、造林用樹種としてはかなり不利をまねがれないと思われる。

## 3) 調査地土壌の一般的特徴

本調査地は花崗岩を母材としているが、良く風化され土壌層はきわめて厚い。土壌断面の外観的な観察結果を Table 5 に示した。両林分とも土壌層は 100 cm 以上の厚さで層位の分化はかなり明瞭である。土壌型は B<sub>n</sub> 型に属するが、腐植の浸透もかなり良好のように観察された。土性は花崗岩を母材としている関係上、砂の多い砂壤土から砂土であるが、林分 II の C 層では花崗岩の下に堆積している頁岩を母材とした植壤土が認められた。なお、粒径 10 mm 以上の大礫は全土壌層にわたりほとんど認められなかった。土壌構造は A 層は団粒状、B 層は果粒状を呈し、すこぶる粗鬆で、通気、透水性は良好であると判断された。

なお、A<sub>0</sub> 層と A 層との境界面には菌糸網層が比較的良く発達しているのが認められたが、近畿地方のアカマツ林でしばしば観察されるように、このことが透水性を阻害しているとは思われなかった。

## 4) 土壌の理学的性質

調査地の土壌の理学的性質を Table 6 に示した。細土、礫、根を含む全容積に対する容積重は表層で 85~100 前後、下層土で 100~120 程度でかならずしも軽鬆とはいえないが、細土に対する表示では表層で 20~60 前後、下層土でも 70 をこえることはなかった。すなわち細土のみでみた場合、きわめて粗鬆であるといえよう。

Table 5. Description of soil profile in experimental stands.

Stand	Horizon	Depth	Color ※	Texture	Structure	Hardness	Difinition
I	A <sub>0</sub>	4~ 0 cm	5 YR ¾	————	————	————	Distinct
	A <sub>1</sub>	0~ 7	5 YR ¾	Sandy loam	Crumb Structure	Loose	Indistinct
	A <sub>2</sub>	7~ 20	5 YR ¾	Sandy loam	Crumb Structure	Loose	Distinct
	B <sub>1</sub>	20~39	5 YR ¾	Sandy soil	Granular Structure	Loose	Indistinct
	B <sub>2</sub>	39~72	5 YR ½	Sandy soil	Granular Structure	Soft	Distinct
	C	72~(100)~	5 YR ¾	Sandy soil	Granular Structure	Soft	————
II	A <sub>0</sub>	4~ 0	5 YR ¾	————	————	————	Distinct
	A <sub>1</sub>	0~ 6	5 YR ¾	Sandy loam	Crumb Structure	Loose	Indistinct
	A <sub>2</sub>	6~20	5 YR ¾	Sandy loam	Crumb Structure	Loose	Distinct
	B <sub>1</sub>	20~57	5 YR ¾	Sandy soil	Granular Structure	Loose	Indistinct
	B <sub>2</sub>	57~98	5 YR ¾	Sandy soil	Granular Structure	Soft	Distinct
	C	98~(100)~	5 YR ¾	Clay loam	Granular Structure	Soft	————

※ by Standard soil color chart of Japanese Agriculture,  
Forestry & Fisheries Reserch Council (1965)

孔隙量は比較的高かったが、最大容水量（保水力）は土壌層全体としてややすくない。したがって最小容気量は比較的高い結果を示した。

これらのことから、本調査地土壌の一般的な理学的性質として、通気、透水性はきわめて良好で林木の根の活動に有利であるが、最大容水量よりみて乾燥気候には弱いことが想像され、また養分要素の保持力にも多少不利な面もあるように思われる。しかしストロブマツの水分要求度は低いといわれ<sup>23)</sup>いることから、この生育にはあまり影響しないかもしれない。

### 5) 土壌の化学的性質

前述の方法にしたがって採取した試料は、風乾後篩別（直径 2mm）し、その細土について化学的性質を調べた。なお、分析方法はつぎのようである。

P・H : ガラス電極 P・H メーター

置換酸度：カッペン法

全 N：ケルダール改良法

全 C：チューリン簡易滴定法

P : モリブデンブルー還元法にて比色定量（光電比色計、波長 700 mμ にて測定）

K : 炎光光度計（波長 766.49 mμ にて測定）

Ca : 原子吸光分析法（SrCl<sub>2</sub> の添加によって共存元素の干渉を除去し、波長 422.67 mμ にて測定）

Mg : 原子吸光分析法（同様に SrCl<sub>2</sub> を添加し、波長 285.21 mμ にて測定）

以上の分析結果を P・H および置換酸度は風乾細土あたり、他の養分要素の含有率は全て絶乾細土あたりに換算して Table 7 に示した。なお、これらの要素のうち、P は P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K は K<sub>2</sub>O、Ca は CaO、Mg は MgO として表示した。P・H はやや微酸性であるが置換酸度は比較的低く、マツ類の生育に好適な条件と思われる。全C、全Nの含有率はともにかなり高く、また下層になるほどその

Table 6. Physical properties of soil.

Stand	Depth	Expression in total volume					Expression in fine soil			Oven dry weight of fine soil, gravel and root per 100 cc			
		Volume weight (V' w)	Porosity (P' )	Maximum water holding capacity (W' max 2)	Minimum air capacity (A' min 2)	Water content	Volume weight (Vw)	Porosity (P)	Maximum water holding capacity (W max 2)	Minimum air capacity (Amin)	Fine soil ( < 2mm)	Gravel ( > 2mm)	Root
I	cm												
	0 ~ 5	90.79	62.78	36.96	25.82	15.71	45.23	82.80	48.75	34.05	34.29	55.00	1.50
	5 ~ 20	109.55	57.60	20.95	36.65	10.20	61.42	76.65	27.88	48.77	46.16	62.88	0.52
	20 ~ 35	114.01	56.77	39.24	17.53	13.99	70.09	74.04	51.18	22.86	53.74	59.93	0.34
	35 ~ 50	117.86	55.81	38.39	17.42	12.89	68.46	74.74	51.41	23.33	51.12	66.63	0.12
	50 ~ 100	123.48	53.99	33.28	20.71	14.03	68.85	74.69	46.03	28.66	49.78	73.70	—
II	0 ~ 5	86.21	66.16	38.79	27.37	12.54	22.61	90.88	53.29	37.59	16.46	69.25	0.50
	5 ~ 20	87.55	65.72	44.95	20.77	16.70	31.81	87.43	59.80	27.63	23.91	63.18	0.46
	20 ~ 35	106.23	59.96	35.28	24.68	14.78	42.49	83.97	49.40	34.57	30.34	75.85	0.03
	35 ~ 50	117.93	55.72	17.57	38.15	7.32	35.34	86.81	27.37	59.44	22.68	95.25	0.01
	50 ~ 100	91.55	65.47	47.70	17.77	25.70	61.46	76.81	55.95	20.86	52.39	39.15	0.02

含有率が低下するのは当然としても、本調査地ではその減少の割合はすくなくかった。このことはすでにのべたように通気、透水性がよいために、表層で分解された有機物が深い下層土にまで滲透したものと理解される。

植物の根の養分吸収に対して一応可給態と考えられる 1/5N-塩酸可溶物中の P, K, および置換性 Ca の含有率もかなり高いことが認められたが、特に P において認められたように表層土壌よりもむしろ 10~50 cm の深さの中間層に高い含有率を示したことは特異なことである。このことから腐植の滲透の良好なことがうかがわれる。またこれらから養分要素の全成分量と考えられる熱塩酸可溶成分の含有率はいずれも高かった。一方熱塩酸可溶 Mg はかなり豊富に含んでいるにもかかわらず、置換性 Mg の含有率は比較的低かったが、これは母材料である花崗岩中の含 Mg 鉱物が容易に風化されない性質をもっているためと考えられる。

以上のべたように、本調査地土壌の養分要素の含有率は Mg をのぞいていずれも比較的高いようであるが、もとより林地の生産力はこれら要素の含有率の多少だけで左右されるものではなく、容積重の異なる土壌を比較するには一定面積中に含まれる養分の現存量の多少を考慮する必要がある。まして本調査地土壌のように大礫はほとんどないとしても粒径 2 mm~10 mm 程度の小礫が土壌層のほぼ 6~7 割を占めるような土壌では細土のみの養分含有率だけで林地生産力を判断することはあまり意味のないことと思われる。

このために養分要素の一定面積中の現存量の多少とともにこれら養分要素の森林生態系内における循環を解析してこそ、その林地、林木の生産力を理解できるであろう。

## 7. 生態系内における養分要素の循環

### 1) 分析方法

森林生態系内の物質循環のしくみを明らかにするため、まず地上部、A<sub>0</sub>層、土壌層の3つの生態系に分け、それぞれの部分に含まれる養

分要素の現存量を推定した。地上部のうち、主林木のストロブマツは伐倒した資料木について幹、生枝、枯枝、当年葉、前年葉の各部分から分析用試料を採取し、また地床植生は同じ調査地点に水平面で  $2 \times 2$  m 内の全量をしていねいに刈取り、乾重の計測を行なう一方、その一部を分析用試料とした。 $A_0$  層は落葉、落枝、粗腐植、腐植が均等に混合するよう留意して試料を採取した。なお、地下部生態系のうち、根系に含まれる養分要素については測定できなかった。ストロブマツの各部分、地床植生、 $A_0$  層の分析はつぎの方法によった。

N : ケルダール改良法

P : 試料を湿式灰化し、珪酸その他の妨害成分を除去して、ただちにモリブデンブルー還元法にて比色定量。(光電比色計にて波長  $700 \text{ m}\mu$  で測定)

K : 乾式灰化した試料について炎光光度計法にて定量。(測定波長  $766.49 \text{ m}\mu$ )

Ca : 湿式灰化した試料について原子吸光分析法にて定量。(SrCl<sub>2</sub>の添加により共存元素の妨害を除去し、波長  $422.67 \text{ m}\mu$  にて測定)

Mg : 湿式灰化した試料について、原子吸光分析法にて定量。(同様に SrCl<sub>2</sub> を添加し、波長  $285.21 \text{ m}\mu$  にて測定)

なお、土壌の場合と同様に P は  $P_2O_5$ 、K は  $K_2O$ 、Ca は CaO、Mg は MgO として表示した。

## 2) 地上部各部の養分要素の含有率

分析結果はすべて絶乾物あたりに換算して Table 8 に示した。ストロブマツの葉の養分含有率は前に報告したテーダマツ<sup>1)</sup>、スラッシュマツ<sup>2)</sup>に

Table 7. Chemical properties of soil. (% on oven dry basis except P · H and exchange acidity)

Stand	Depth cm	P · H		Exchange acidity (Y <sub>1</sub> )	Total C	Total N	C/N	$\frac{1}{2}$ N-HCl Soluble		Exchangeable		Hot-HCl soluble			
		H <sub>2</sub> O (1:2)	1N-KCl (1:2)					P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
I	0~5	5.75	4.40	3.72	2.841	0.215	13.21	0.006	0.029	0.081	0.016	0.054	0.095	0.195	0.535
	5~20	5.70	4.50	8.18	1.943	0.171	11.36	0.012	0.011	0.014	0.003	0.066	0.102	0.133	0.564
	20~35	5.65	4.65	4.83	1.147	0.071	16.16	0.013	0.011	0.014	0.002	0.045	0.102	0.158	0.597
	35~50	5.60	4.70	3.72	0.482	0.049	9.84	0.010	0.011	0.008	0.002	0.032	0.096	0.192	0.594
	50~100	5.60	4.80	2.42	0.367	0.042	8.74	0.008	0.012	0.006	0.001	0.036	0.094	0.165	0.644
II	0~5	5.30	4.30	8.55	5.794	0.388	14.93	0.006	0.025	0.091	0.014	0.066	0.123	0.189	0.518
	5~20	5.40	4.20	6.69	5.107	0.316	16.16	0.005	0.018	0.058	0.008	0.050	0.074	0.186	0.499
	20~35	5.40	4.30	7.06	2.915	0.172	16.95	0.014	0.008	0.014	0.003	0.051	0.070	0.168	0.549
	35~50	5.60	4.85	1.86	1.240	0.071	17.46	0.014	0.011	0.008	0.001	0.051	0.101	0.207	0.629
	50~100	5.70	4.90	2.23	2.498	0.114	21.91	0.008	0.009	0.007	0.001	0.033	0.079	0.131	0.430

比べるとN, P, Kの3要素は著しく高く、テーダマツの2倍、スラッシュマツの2～3倍程度もあった。これに反してCaはこれら樹種に比べて明らかに低く、またMgもやや低い含有率を示した。

Table 8. Concentration of nutritive elements in stem, branches, needles of White pine, ground flora and A<sub>0</sub> layer. (% on oven dry basis)

Sample	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Ash.
	%	%	%	%	%	%
Stem	0.177	0.119	0.106	0.033	0.053	0.432
Living branch	0.632	0.224	0.298	0.108	0.129	1.269
Dead branch	0.206	0.083	0.032	0.119	0.060	0.671
New needle	2.123	0.509	0.909	0.149	0.257	2.769
Old needle	1.690	0.432	0.840	0.267	0.246	3.556
Ground flora	0.630	0.269	0.756	0.238	0.209	2.914
A <sub>0</sub> layer	1.278	0.266	0.127	0.293	0.182	24.157

わが国のアカマツ林<sup>12)</sup>、クロマツ林で調査された結果と比べても明らかにN, P, Kの3成分は含有率が高い傾向が認められた。また外国で調査されたスラッシュマツ<sup>18)</sup>、テーダマツ<sup>14, 16)</sup>、スコットパイン<sup>17)</sup>と比べてもN成分の含有率は比較的高かった。一般にどの樹種でも葉のN, P, Kの含有率は新葉の開序時に高く、落葉期に向かって徐々に減少していくといわれる<sup>1, 19, 20)</sup>。本調査地のストロブマツは落葉直後の調査であり、また旧葉の含有率からみてもこれら3成分の含有率の高い樹種であることは確かと思われる。また生枝中に含まれるN, P, Kの含有率でも葉でみられた傾向と同じくテーダマツの2倍、スラッシュマツの2～3倍程度を示したがCaの含有率では明らかに低いことが認められた。

これに対してストロブマツの幹中のN, K, Pの含有率はスラッシュマツよりも多少高いようであるが、テーダマツとは大差なく、Caではこれら2樹種の含有率よりもかなり低かった。なお、生育年数が異なるので直接の比較はできないかも知れないが、33年生のアカマツの幹で調べられた結果<sup>21)</sup>と比べると明らかにストロブマツのN, P, Kは高く、Caは低いことが認められた。A<sub>0</sub>層中のこれら要素の含有率は、葉でみられた以上の傾向ほど極端ではないとしても、明らかに他樹種の林分に比べてN, P, Kの含有率は高く、Caは低いことが認められ、葉の性質がA<sub>0</sub>層にまで影響していることがうかがわれた。なお、ストロブマツはCaの要求度がひくいことが報告<sup>15)</sup>されているが、この点全ての部位でCaの含有率が低かった点もうなずける。また、北ミネソタ州で調べられたストロブマツとノルウェーパインの混交林<sup>22)</sup>におけるA<sub>0</sub>層中の含有率と比べると、本調査地の方がN, P, Kの含有率はやや高いようであったが大きな差はなかった。

### 3) 生態系内の養分要素の現存量とその配分

地上部各部分およびA<sub>0</sub>層の養分現存量はそれぞれのhaあたり乾物量にそれぞれの養分要素の含有率(Tabl 8)を乗じて算出した。また土壌中の養分現存量は深さ別細土量(Table 6)をhaあたり細土量に換算し、これにTable 7の養分要素含有率を乗じて算出した。なお、この土壌中養分現存量のうちNは全N成分としてもとめたものであるが、P, Kは0.2規定塩酸可溶成分、Ca, Mgは置換態であって、一応可給態養分としてとりあつかった。これらの計算結果をとりまとめてTable 9に示した。

この表より林分IおよびIIの全生態系内現存量を比べるとNおよびCaは林分IIの方が多くその他

の成分は林分Ⅰの方が多い傾向が認められたが、その差はいずれも僅かであった。5要素の地上部現存量は僅かに林分Ⅱの方が多く、A<sub>0</sub>層中では各要素ともに僅かに林分Ⅰの方が多い傾向がみられた。すでにのべたように土壌層中の細土量は明らかに林分Ⅰの方が多かったにもかかわらず、養分要素現存量としては要素によってまちまちの結果を示した。しかしその差は大きなものではない。

以上のように養分要素の現存量は林分ⅠとⅡの間にあまり大きな差はなく、ほぼ類似した動きをしているように思われた。

林分ⅠおよびⅡ

Table 9. Amount of nutritive elements in each ecosystem in kg per hectare. (Soil layer was calculated by available forms except Nitrogen)

Nutritive elements		N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		CaO		MgO	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Parts in ecosystem	Stand										
	Stem	26	26	18	18	16	16	5	5	8	8
	Living branch	46	47	16	17	22	22	8	8	9	10
	Dead branch	0.08	0.08	0.03	0.03	0.01	0.01	0.04	0.05	0.02	0.02
	New needle	44	45	11	11	19	19	3	3	5	6
	Old needle	10	11	3	3	5	5	2	2	1	2
Upper ground parts	Ground flora	11	16	5	7	13	19	4	6	4	5
	Total	137	145	53	56	75	81	22	24	27	31
Under ground parts	A <sub>0</sub> layer	178	143	37	30	18	14	41	33	25	20
	0~5 cm	370	318	10	5	50	21	139	75	28	11
	5~20	1,183	1,134	83	18	76	65	97	208	21	29
	20~35	572	783	105	64	89	36	89	64	16	14
	35~50	376	241	77	48	84	37	61	27	15	3
	50~100	1,045	2,987	199	210	299	236	149	183	25	26
Soil layer		3,546	5,463	474	345	598	395	535	557	105	83
Sum total		3,861	5,751	564	431	691	490	598	614	157	134

の平均値でストロームツ林の全生態系内現存量を林分構成の似たテダマツ林<sup>1)</sup>、スラッシュマツ林<sup>2)</sup>と比較すると Table 10 に示したように、ストロームツ林のNとPの現存量は白浜試験地における両林分より著しく多い。またKはこれら両林分より多少多く、またCaはスラッシュマツ林とはほぼ同じであった。しかしながらMgは反対にストロームツ林の方が著しくすくない。植付け後11年という短い期間であるので物質循環上半開放的の性質をもつNも含め、地上部各部に含まれる養分要素のほとんどは土壌中から吸収されたものである。したがって生態系内のN、P、Kの現存量が多いということは、一般的にいて本調査地の土壌は施肥した白浜試験地の土壌よりはなお肥沃だとい



Table 10. Amounts of nutritive elements in whole ecosystem (upper ground parts, A<sub>0</sub> layer and soil layer) of White pine, Slash pine, and Loblolly pine stands.  
(Soil layer was calculated by available form)

Species	(kg/ha)				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Loblolly pine	2,647	232	367	1,054	1,343
Slash pine	2,428	151	442	585	678
White pine	4,806	498	591	606	146

Table 11. Distribution rate of nutritive elements in ecosystem.

Nutritive elements	Species Parts in ecosystem	Loblolly pine	Slash pine	White pine
N	Upper ground parts	7.9%	10.2%	2.9%
	A <sub>0</sub> layer	4.1	2.0	3.4
	Soil layer	88.0	87.8	93.7
	Total	100	100	100
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Upper ground parts	20.3	32.5	11.0
	A <sub>0</sub> layer	3.5	4.0	6.8
	Soil layer	76.2	63.5	82.2
	Total	100	100	100
K <sub>2</sub> O	Upper ground parts	20.7	24.9	13.2
	A <sub>0</sub> layer	4.6	1.6	2.7
	Soil layer	74.7	73.5	84.1
	Total	100	100	100
CaO	Upper ground parts	10.9	40.2	3.8
	A <sub>0</sub> layer	6.3	8.2	6.1
	Soil layer	82.8	51.6	90.1
	Total	100	100	100
MgO	Upper ground parts	4.1	17.3	19.9
	A <sub>0</sub> layer	3.7	4.1	15.8
	Soil layer	92.2	78.6	64.3
	Total	100	100	100

える。したがってこれらの養分要素については施肥の効果はあまり期待できないと思われるが、ただMgは将来欠乏する可能性がありそうである。

つぎにストローブマツ林生態系内の養分要素現存量を地上部（主林木、地床植生）、A<sub>0</sub>層、土壌層の3つに分け、その配分率を算出して Table 11 に示した。

なお比較のために白浜試験地におけるテーダマツ林、スラッシュマツ林の配分率もあわせて表示した。Table 11 から明らかなように N, P, K, Ca の4要素はテーダマツ林、スラッシュマツ林に比べてストローブマツ林の地上部配分率がすくなかった。これはストローブマツ林の乾物現存量がすくないことのほか、地下部（A<sub>0</sub>層を含む）の養分要素現存量が多いことによる。すなわち土壌中の養分量からだけみれば余裕を残しているといえよう。しかし Mg ではこれら成分とは逆に本調査地の方が地上部への配分が比較的大きく、この成分にはあまり余裕のないことがうかがわれる。一方 A<sub>0</sub>層中の Mg の配分は他の成分に比べてきわめて大きい。

このことは Mg のような土壌層中の現存量のすくない成分は、その不足を補なうために落葉の分解によって循環の速度を早める機

能を林木が備えているのかも知れない。

以上においてみられた傾向は前述したように土壌層中の養分現存量を可給態成分として算出した結果にもとづいたものであるが、全要素量（熱塩酸可溶成分）として分析した結果は Table 12 のようであった。Table 12 から明らかなように、細土量の多い林分Ⅰの全要素量の方が多い。しかし Mg の現存量は著しく多いが前述したように本調査地土壌中には可給態 Mg の現存量がきわめてすくなく、将来 Mg 欠乏の可能性もある。この原因は土壌の化学的性質でものべたように、母材料である花崗岩中の含 Mg 鉱物が容易に風化分解されない性質をもっているためであろう。それゆえ Mg の可給態化を促進させるような何らかの方法を見出す必要があろう。

Table 12. Amount of total nutrients (Hot-HCl soluble) in soil layer to 100 cm depth in Kg per hectare.

Stand	(Kg/ha)			
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
I	2,054	4,767	8,108	30,220
II	1,504	3,099	5,723	18,119

Table 13. Average decomposition rate of nutritive elements in the stands.  
(Amount of nutrient in new needle/Amount of nutrient in A<sub>0</sub> layer×100)

Stand	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
I	24.7%	29.7%	105.6%	7.3%	20.0%
II	31.5	36.7	135.7	9.1	30.0

#### 4) 養分の落葉落枝としての還元——平均分解率

森林生態系における養分要素の循環は、その絶対量の多少とともにその循環速度が重要な意義をもっていることはもちろんである。この速度にもっとも影響する因子としては、落葉落枝の風化分解、還元、無機化の速さがあげられる。この速さは、毎年林地に供給される落葉落枝中の養分量を現存する A<sub>0</sub> 層中の養分量で除した値を平均分解率とし、その逆数を分解年数としてそのいずれかであらわすことができる。

毎年の新葉量に相当する量が毎年林地に落葉として供給されるものとして、その分解率を計算し、Table 13 に示した。本表によると K を除いて全般に分解率は比較的低いようであった。すなわち、N、P はその分解に 3～4 年、Mg は 3～5 年、Ca はもっともながく 10 年以上を要するが、K は 1 年たらずでほとんど分解されるようであった。一方、テーダマツ林、スラッシュマツ林の結果<sup>1,2)</sup> と比べると、Mg を除いたいずれの要素の分解率もスラッシュマツ林に比べてきわめて低く、テーダマツ林に比べてもかなり低い傾向を示した。しかし Mg だけはスラッシュマツよりは低いが、テーダマツよりは多少高かった。以上のように、ストローブマツの落葉の分解速度は一般におそく、その風化分解はかなり困難な部類に入るように思われる。

この原因の一つとして、調査地の寒冷な気候条件が分解をおくらせているとも考えられる。

#### 5) 土壌中の養分の消費の早さ

葉および枝に含まれる養分はいずれ落葉、落枝となって林地へかえされ、分解して循環に加わっていくが、幹に吸収、保持された養分はみかけ上の量としてはそのまま林木中にとどまるように見え、林地へかえされることはない。したがってこの分に相当するだけの量が毎年土壌中より減少していくはずである。この量を調べるために最近 1 年間の幹の生長量にそれぞれの養分含有率を乗じて、最近 1 年間に幹に吸収、保持された養分量を算出した結果、林分ⅠおよびⅡにおいて、N は 7.0～7.2 kg/ha、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> は 4.7～4.8 kg/ha、K<sub>2</sub>O 4.2～4.3 kg/ha、CaO 1.3 kg/ha、MgO 2.1 kg/ha と推定された。したがってこの 1 年間にこの量に相当するだけの量がそれぞれ土壌中から減少したと思われる。

る。

Table 14. Amounts of available nutrient in A<sub>0</sub> layer and soil compared with amount of current annual uptake in stem.  
(Amount in A<sub>0</sub> layer and soil to 100cm depth/Amount of current annual uptake in stem)

Stand	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
I	532	109	147	443	62
II	779	78	95	454	49

ことを示している。またPやKは100年前後でいくらかは余裕があると思われるが、Mgは僅か50～60年分程度しか保持していないようであるので、近い将来、本調査地のストロブマツ林はMg欠乏になる可能性が大きいといえよう。この現象はP、K、Caに比較的余裕のない白浜試験地のテーダマツ林やスラッシュマツ林とは著しく異なっている。

## あ と が き

物質生産機構の解析という方法によってこれまでいくつかの若い外国産マツ林の特性を検討してきたが、2～3針葉のテーダマツやスラッシュマツと5針葉のストロブマツの間における生産機構上のきわだった差異は見出せなかった。しかし、外国産マツ各樹種の幹形特性、同化器官である葉の着生量およびその状態あるいは主要な養分要素の循環と蓄積の形態にかなり明らかな特徴が認められるので、今後さらに多くの調査資料をつみ重ねて、物質生産のからくりを解き明すとともに、マツ属各種の特性を明らかにしたい。

## 文 献

- 1) 赤井龍男・古野東洲・上田晋之助・佐野宗一：テーダマツ幼令林の物質生産機構，京大演報，40，26～49，(1968)
- 2) 赤井龍男・上田晋之助・古野東洲：スラッシュマツ幼令林の物質生産機構，京大演報，41，56～79，(1970)
- 3) SARGENT, C.: Report on the Forest of North America, (1884)
- 4) 亀井専次・松井善喜・高樋勇・井上又太郎：ストロブマツ，北方林業叢書，14，(1959)
- 5) 林 野 庁：外国樹種造林地の所在調査，(1965)
- 6) 諸戸清一：ストロブマツの立木材積表，北方林業，10，332～333，(1958)
- 7) FENSKA, R. R.: Yield table for white pine. Jour. Forestry, 20, 593～597, (1922)
- 8) 只木良也・蜂屋欣二：森林生態系とその物質生産，(1968)
- 9) 蜂屋欣二・土井恭次・小林玲爾：アカマツ林の林分成長の解析——岩手地方壮令人工林の一例，林試研報，176，75～88，(1965)
- 10) 四手井綱英：アカマツ林の造成，地球出版，(1963)
- 11) 林野庁編：民有林野土壌調査方法，(1954)
- 12) 堤 利夫・河原輝彦・四手井綱英：森林生態系における養分の循環について（I）個体および林分の地上部の養分量，日林誌，50，66～74，(1968)
- 13) OVINGTON, J. D.: The composition of tree leaves. Forestry, 29, 22～28, (1956)
- 14) METZ, L. J.: Weight and nitrogen and calcium content of the annual litter fall of forests in the South Calorina Piedmont. Proc. Soil Sci. Soci. of America, 16, 38～41, (1952)
- 15) ALLWAY, F. J. and RAPHAEL ZON: Quantity and nutrient contents of pine leaf litter. Journal of Forestry, 28, 715～727, (1930)

このような土壌中の養分の消費の早さをみるために、土壌層中現存量を幹に吸収保持された量で除した値を算出し、Table 14に示した。これは今後この年間吸収量で各養分が幹に蓄積されていった場合、現在の可給態養分が今後何年間で吸収・消費されるかを示している。

Table 14 から明らかなように、Nは500年分以上、Caは400年分以上を保持していることになり、これら両成分は相当余裕のあ

- 16) ROTH, E. R., E. R. TOOLE and G. H. HEPTING: Nutritional aspects of the little leaf disease of pine. *Journal of Forestry*, **46**, 578~587, (1948)
- 17) OVINGTON, J. D., H. A. I. MADGWICK: Distribution of organic matter and plant nutrients in a plantation of Scots pine. *Forest Science*, **5**, 344~355, (1959)
- 18) BARNES, R. L., G. W. BENGTON: Effect of fertilization, irrigation, and cover cropping on flowering and on nitrogen and soluble sugar composition of Slash pine. *Forest Science*, **14**, 172~180, (1968)
- 19) WHITE, D. P.: Variation in the nitrogen, phosphorous and potassium content of pine needles with season, crown position and sample treatment. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, **18**, 326~330, (1954)
- 20) HOYLE, M. C., D. L. MADER: Relationships of foliar nutrients to growth of Red pine in Western Massachusetts. *Forest Sci.*, **10**, 337~347, (1964)
- 21) 古川 忠: 林木の幹に蓄積する無機養分元素の研究, *日林誌*, **46**, 281~293, (1964)
- 22) 朝日正美: ストローブマツの適地土壌に関する研究, *東大演報*, **45**, 103~110, (1953)

## Résumé

In a series of studies on the productivity of pine stands introduced in Japan, some important mechanisms in matter production were investigated in an 11-year-old White pine (*Pinus strobus*) stand planted in the Achi national forest (Iida City, Nagano Pref.). Emphasis on the biomass of the upper ground parts, productivity of stem, production structure, soil conditions and the circulation of nutrients within the ecosystem are discussed in this paper.

This stand is situated about 1,100 meter above the sea-level and on a steep slope facing the south. Measurements taken in October, 1969, of stand density, mean diameter breast height, mean height and basal area of sample plots are shown in Table 1.

The biomass of the upper ground parts per stand was estimated by the method of allometric relation. Sample trees of various sizes were cut down at the base, and the stem, branches and needles of each tree were separately weighed using the stratified clip technique. The fresh weight data were converted into oven-dry weights, and the volume increment of stem was measured by stem analysis. The allometric relations of the stem volume ( $V$  cm<sup>3</sup>), the stem dry weight ( $w_s$  kg), branch dry weight ( $w_B$  kg) and needle dry weight ( $w_L$  kg) to  $D^2H$  ( $D$ cm: diameter breast height,  $H$ cm: tree height) closely fitted in a linear relation shown in the logarithm (Fig. 1, 2, 3). These regression formulas were found to be:

$$\log V = 0.8828 \log (D^2H) + 0.1806$$

$$\log w_s = 0.8241 \log (D^2H) - 3.0328$$

$$\log w_B = 0.9875 \log (D^2H) - 4.0831$$

$$\log w_L = 1.0354 \log (D^2H) - 4.7677$$

The stem volume per hectare was estimated at about 45.5 m<sup>3</sup>, and the dry weight of stems at about 14.9 tons, branches at about 7.4 tons and foliage at about 2.8 tons (including new needles 2.1 tons) respectively (Table 3). These biomasses tended to be markedly smaller in value than those of other species pine forest having similar stand composition. As a result of seasonal changes of the foliage biomass and leaf-fall amounts in a stand, the amount of foliage measured just after the defoliation of major needles of previous year was presumed to be the smallest of all seasons.

The current annual increment of stem volume in the same plot was estimated at about 12.2 m<sup>3</sup> (4 tons)/ha. Its production made little difference to value in White pine stands of other regions and countries in Japan, and seemed to be generally smaller than the pine stands of other species.

As regards the vertical distribution of foliage, it seemed that the White pine stand was the needle-type whose foliage appeared mainly in the lower strata of the crown as shown by a production structure diagram (Fig. 7). The average light intensity under the crown in sample plots showed 5.4% of full daylight, and the rate over 10% of relative light intensity accounted for about 15% of the whole.

The oven-dry weight of the  $A_0$  layer (consisting of litter, raw humus and humus) in the sample plots was estimated at about 12.6 ton/ha, the average decomposition rate of the  $A_0$  layer was accounted at under 20%, so it seemed that the decomposition rate of  $A_0$  layer in the White pine was slower than that of the Loblolly pine and Slash pine stand in Japan.

The depth of soil in sample stands was over 100 cm, and the soil properties were sandy and soft (Table 5, 6). The concentrations of nitrogen, phosphorous, potassium and calcium in the soil were higher than those of other pine stands introduced in Japan, but the exchangeable magnesium concentration was remarkably small (Table 7).

The concentrations of nitrogen, phosphorous and potassium in the needles, branches and  $A_0$  layer of White pine stand were higher than those of other pine stands (Table 8).

The amounts of nitrogen in the forest ecosystem consisting of the upper ground parts (ground flora included) and the soil to 100 cm depth ( $A_0$  layer included) was estimated at about 4,810 kg/ha, and as the soil layer was calculated by available forms,  $P_2O_5$  at about 498 ton/ha,  $K_2O$  at about 591 kg/ha,  $CaO$  at about 606 kg/ha and  $MgO$  at about 146 kg/ha respectively (Table 9, 10). It seemed that the amount of exchangeable magnesium was less than in other pine stands.

The average decomposition rates of each nutritive element except potassium were lower in White pine stand than in Loblolly pine and Slash pine stands (Table 13). Because part of the nutrients accumulate annually in the stem, the amounts of nitrogen and calcium in the soil remain at over 400 times the annual uptake, and phosphorous and potassium at about 80-150 times, and magnesium at only 50-60 times (Table 14). Judging from the circulation of nutrients, it seems that magnesium quantities in the ecosystem were not sufficient for the continuation of present growth.